

補助事業番号 2017M-119

補助事業名 平成29年度 潤滑面と潤滑油の特性を簡便に評価するシステムの開発  
補助事業

補助事業者名 九州工業大学 松田健次

## 1 研究の概要

潤滑油を塗布した金属ブロック表面上に、直径の異なる超硬合金球圧子を有する2種類のハンマと、対面角の異なるダイヤモンド四角錐圧子を有する5種類のハンマを種々の高さから自由落下させ、衝突させた。その際のハンマの反発挙動を、レーザドップラー振動計を用いて精確に測定するとともに、形成される圧痕形状を調査した。その結果、①潤滑油が存在しなければ、四角錐圧子の対面角が増加するほど反発係数は増加し、1に近づく、②潤滑油の存在により、球体圧子ハンマの反発係数は低下するが、四角錐圧子ハンマの場合は、対面角がある限界の値以下であれば、潤滑油の影響は極めて小さい、③対面角がある限界値を超えると、潤滑油が存在する場合の反発係数は、対面角の増加とともに低下する、④その結果、潤滑油が存在する場合の反発係数には、上限値が存在する、⑤その上限値および限界の対面角は油種によって異なり、高圧下の粘度の高い潤滑油の方が上限値および限界の対面角は小さくなることを明らかにした。

## 2 研究の目的と背景

機械には必ず相対運動する部分が存在する。潤滑油は、このような相対運動する2面間に発生する摩擦の減少や制御、摩耗、焼付きなどの表面損傷の発生を防止または軽減するために用いられるが、転がり軸受のような外接的接触する機械要素では、潤滑油に作用する圧力は数GPaに達する。潤滑油の粘度は圧力に大きく依存するため、潤滑状態を正しく推定するためには、高圧力下での潤滑油の特性を把握する必要がある。しかし、このような高圧を密封容器中でコントロールしながら潤滑油粘度を測定する既存の手法は、大掛かりなうえに、装置の維持・管理も容易でないため、簡便な手法の実現が切望されている。

そこで本研究の目的は、高圧下の潤滑油の特性を簡便に評価できるシステムを開発することである。本研究でその手法として注目したのは、金属の硬さ評価に古くから用いられている反発式硬さ試験である。反発硬さ試験に着目した理由は下記の通りである。反発硬さ試験では、所定のハンマを所定の速度で測定物表面に衝突させた際のハンマの反発速度または反発高さを尺度として硬さが定義される。硬さそのものの物理的意味は必ずしも明らかではないが、試験が簡便であり、結果も極めて短時間で得られる等の特徴があるため、特に現場の検査手段として広く用いられている。これまでの研究で、潤滑面で覆われた金属試料にハンマを衝突させると、衝突面には潤滑油が閉じ込められたことを示唆する形状のくぼみが形成されることが明らかになっている。このとき潤滑油には、金属試料の硬さと同程度の圧力が作用する。よって、形成されるくぼみ形状やハンマの反発挙動には、高圧下の潤滑油の特性が影響すると考えられる。ここで、閉じ込められる潤滑油の量は、ハンマ先端形状、潤滑油の種類、衝突面(金属)の硬さによって変化し、それ

がハンマ反発挙動に影響を与えると予想される。そこで、その関係を把握し影響の程度を定量化することによって、評価手法を確立することを目指した。

さらに、上記の検討により、潤滑油の存在が測定値に影響を及ぼさないような測定条件の存在が明らかになれば、測定のために潤滑油や防錆剤を除去したり、測定後に再塗布する必要がなくなり、現場における従来の金属試料の硬さ測定に対しても、さらなる効率化を図ることができる。

### 3 研究内容

#### (1) 圧痕形状と反発挙動の関係の解明に関する研究

(<https://kenjimatsuda2012ki.wixsite.com/mysite>)

金属試験片表面に2種類の潤滑油 (VG100, TN320) を塗布し、その表面に高さ約0.1~10mmからハンマを自由落下させ、ハンマ反発挙動をレーザドップラー振動計を用いて計測した。さらに、試験片表面に形成された圧痕の形状を非接触三次元測定装置を用いて測定することにより、圧痕形状と反発挙動の関係を調査した。使用したハンマは、先端に直径 $D=2\text{mm}$ の超硬合金球を圧入したもの (S1, 質量10.8g) と、寸法を2倍に拡大し、先端に $D=4\text{mm}$ の超硬合金球を圧入したもの (S2, 質量80.0g) である。その結果、潤滑油が存在すると無潤滑下よりも深い圧痕が形成されて反発係数が低下すること、圧痕の深さの増加の程度および反発係数の低下の程度は、高圧下の粘度の高い潤滑油の方が大きくなることを明らかにした (図1, 2)。

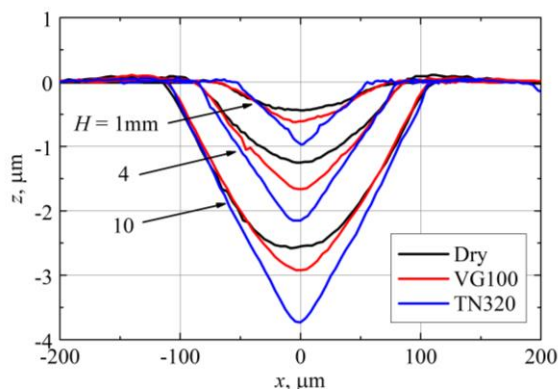


図1 ハンマ S1 で形成された圧痕の断面形状

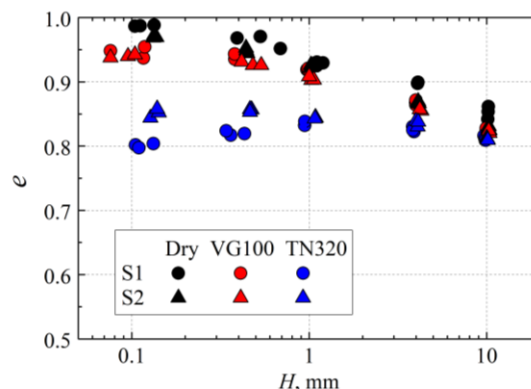


図2 ハンマS1とS2の反発係数と落下高さの関係

#### (2) 潤滑油が影響しない限界の圧子形状の解明

(<https://kenjimatsuda2012ki.wixsite.com/mysite>)

先端にダイヤモンド四角錐圧子を有する3種類のハンマを潤滑面に衝突させ、反発係数および圧痕形状を球体圧子ハンマの結果と比較することにより、潤滑油が影響しない圧子形状の存在およびその形状が何に依存しているかを検討した。使用したハンマは、P136(対面角 $\alpha=136^\circ$ , 質量11.0g), P160( $\alpha=160^\circ$ , 質量11.1g), P172( $\alpha=172^\circ$ , 質量11.1g)の3種

である。その結果、対面角が比較的小さい場合（本研究の場合、 $\alpha = 136^\circ$ と $160^\circ$ ）には潤滑油は反発係数にほとんど影響しないのに対し、 $\alpha = 172^\circ$ のハンマでTN320潤滑面を測定した場合には、著しく反発係数が低下した（図3）。すなわち、反発係数が潤滑油の影響を受ける四角錐圧子の対面角には限界が存在することが明らかになった。球体圧子および四角錐圧子ハンマで形成された圧痕のアスペクト比（＝深さ $h$ ／直径 $d$ ）を比較すると、四角錐圧子ハンマにおいて潤滑油の影響が生じたP172の $h/d$ は球体圧子ハンマの $h/d$ と交わる領域に位置しているのに対し、P136、P160の $h/d$ の値はそれぞれの約0.19と0.057であり、球体圧子よりもかなり大きな領域に存在した（図4）。すなわち、潤滑油の影響を受ける限界の四角錐圧子対面角は、衝突時の閉じ込め油膜形状に強く依存していることが示唆される。

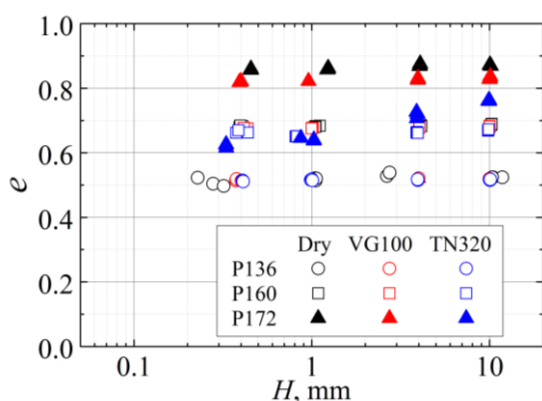


図3 ハンマ P136, P160, P172 の反発係数と落下高さの関係

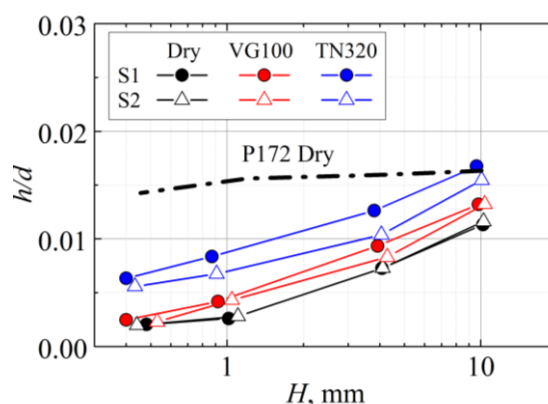


図4 各圧痕のアスペクト比（＝深さ  $h$ ／等価  $d$ ）と落下高さの関係

### (3) 最適ハンマ先端形状と高圧下粘度評価手法の提案

(<https://kenjimatsuda2012ki.wixsite.com/mysite>)

上記(2)に加え、さらに対面角の大きいダイヤモンド四角錐圧子を有する2種類のハンマ P174 ( $\alpha = 174^\circ$ , 質量11.1g) と P176 ( $\alpha = 176^\circ$ , 質量11.1g) を用い、圧子対面角と潤滑油種がハンマ反発挙動に及ぼす影響を系統的に調査した。その結果、無潤滑の場合には、圧子対面角の増加とともに反発係数は単調に増加し1に近づくのに対し、潤滑油が存在する場合には反発係数の取り得る最大値が存在し、その値は落下高さにはほとんど依存せず、油種に依存することを明らかにした（図5）。すなわち、潤滑油の高圧下粘度の評価に対しても、反発係数が有効な尺度になるものと期待される。

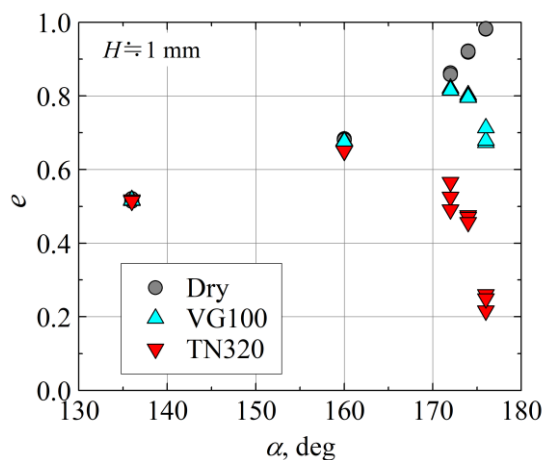


図5 四角錐圧子ハンマの反発係数と圧子対面角の関係 ( $H \approx 1$  mm)

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

少子高齢化に伴う労働人口の減少により、作業の省力化が求められる一方で、品質管理に対する要求は益々厳しいものとなっている。このような状況に於いて、簡便・迅速な評価を実現できる可能性のある本提案手法は、特に現場での簡易評価手法として広く受け入れられることが期待される。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

事業者はこれまで、固体の「硬さ試験」に関する研究をライフワークとしてきた。本研究は、「硬さ試験」の新しい展開の可能性を示すものであり、今後の研究の幅が大いに拡大すると予想される。なお、事業者はこれまで、ホームページを自作したことがなかったが、本事業により経験を積むことができた。今後、この経験を教育・研究に役立てたい。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- ① 市川諒, 井上友宏, 新原寛太, 松田健次, 潤滑面の反発係数に及ぼす圧子形状と落下高さの影響, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議予稿集, 高松(2017-11), A29.
- ② Tomohiro Inoue, Daichi Urakawa, Ryo Ichikawa and Kenji Matsuda, Effect of Apex Angle on the Restitution Coefficient of Hammer with Pyramidal Indenter, 6th International Indentation Workshop, Sapporo (2018), 発表予定.

#### 7 補助事業に係る成果物

##### (1)補助事業により作成したもの

なし

##### (2)(1)以外で当事業において作成したもの

なし

#### 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 九州工業大学(キュウシュウコウギョウダイガク)

住 所: 〒804-8550

福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1

担 当 者: 教授 松田 健次(マツダ ケンジ)

担 当 部 署: 大学院工学研究院(ダイガクインコウガクケンキュウイン)

E - m a i l: matsuda.kenji792@mail.kyutech.jp

U R L: <http://www.mech.kyutech.ac.jp/labo/tribo.html>